2010:146 CIV

EXAMENSARBETE

Vidareutveckling och utvärdering av en in-ear audiolur

Jonas Löfhede

CIVILINGENJÖRSPROGRAMMET
Arena media, musik och teknik

Luleå tekniska universitet
Institutionen för Arbetsvetenskap
Avdelningen för Ljud & Vibrationer

2010:146 CIV • ISSN: 1402 - 1617 • ISRN: LTU - EX - - 10/146 - - SE

Förord

Detta examensarbete är genomfört vid institutionen för arbetsvetenskap vid Luleå tekniska universitet. Arbetet utfördes i samarbete med företaget Jays i Västerås.
Under arbetet har jag fått hjälp av en mängd människor och företag med allt från små kuriosa frågor till stora fundamentala frågeställningar.

Jag vill naturligtvis tacka min mentor och handledare under projektet Roger Johnsson, som inspirerat till nya vinklingar och även hållit mig tillbaka lagom mycket för att arbetet till slut kunde få en tydlig ram.
Stort tack till Martin på Jays som fanns till hands under uppstarten och som aldrig var sen till att ge tips, råd och framför allt material för att arbetet skulle kunna utföras.
Anders Håkansson på avdelningen för Industriell design, tack för all hjälp med rapid prototyping.
Och även ni nära och kära som stöttat under tiden som förflöt medan arbetet fick mogna.
Nu är det klart.

Jonas Lundqvist Luleå tekniska universitet 2009 - 09 - 09

Sammanfattning

Överallt ser man resultatet av den bärbara tekniken, i många öron ser man någon form av audiolur. Det kan vara ett bluetooth handsfree till en telefon eller allt som oftast hörlurar till en musikmaskin. Många telefontillverkare utvecklar nu egna speciella och ofta bra hörlurar som medföljande tillbehör till telefonen. Detta gör att tillverkare som inte är knutna till telefonbranschen har ett behov av att utmärka sig. Företaget Jays har fokuserat på att med en unik högtalarkonstruktion, design och ljuddämpande förmåga, utmana större tillverkare av portabel audio. Det här arbetet avser att undersöka hur bra de lyckas med ljuddämpningsförmågan samt att ge förslag på en förbättring av Jays in-ear hörlurar.

Inledande tester avsåg undersöka hur en in-ear hörlur låter och vad som eftersträvas vad gäller ljudåtergivning hos en sådan. En enkel testmodell skapades för ändamålet och fokus låg på att utröna om hörluren d-Jays står sig bra i förhållande till andra lurar och till den uppskattat ideala modellen.

För att undersöka den passiva dämpningen, utsattes luren för ett standardiserat test som är avsett för öronproppar. I samband med detta genomfördes ett subjektivt test av ljudkvaliteten och känslan som användare upplever vid ett första test av luren. Tester genomfördes också på av en prototyp som skulle efterlikna en tänkt förbättring av d-Jays i avseendet förmåga att dämpa bort ljud.

Resultaten visar på svårigheter att säga vad som gör att en in-earlur låter bra. d-Jays frekvensgång är svår att placera i ett fack. Testen som genomförts antyder att den inte stålar ljud som en referenshögtalare utan har en del karaktär. Det kan vara så att dess drag är oönskade och beror på hörlurens fysiska utformning. Vad som låter bra är alltid, till slut upp till användaren.

d-Jays har ljuddämpande förmåga, de fungerar väl för miljöer med buller i mellanregistret. Vilket kan vara passande för att användas i lokaler eller tillfällen där människoröster står för bullret. Däremot verkar den dämpa sämre vid höga frekvenser vilket gör den olämplig för användning i till exempel industrilokaler där buller i högfrekvensområdet förekommer. Testmodellen har visat sig vara bättre för den typen av buller. Ingen av dem ger så hög dämpning som en rätt använd skumpropp av industrimodell ger. Med viss försiktighet och beroende på bullrets styrka skulle de ändå vara ett alternativ som öronpropp.

Abstract

All around you can see the result of the portable evolution, in or on many ears you see a headphone. It can be a bluetooth headset för a phone or more common a headphone for some kind of music device. Many phone manufacturing companies develop their own and often good earpices to sell with their phones. This gives manufacturers who are not tied to the phone manufacturing busines a need to excel. Jays has a focus on an unique speaker construction, design and sound atenuating ability to chalange the bigger phone and audio companies. This project goal is to evaluate how they succede with the sound attenutaing aswell as make suggestions on how to make d-Jays even better.

Initial tests intended to evaluate how an in-ear headphone sounds and how a good one sound. A simple model för testing was made to evaluate this. The focus lay on whether d-Jays manages in test with other headphones and an estimated ideal.

The tests made to evaluate the sound attenuation follow standards made for earpluggs. During the test, questions with intention to evaluate the subjective sound quality and also the experience a first time user have of the earpice were asked. Tests were also perfomed on a prototype wich was supposed to work as an enhancement in d-Jays performance as an noise reducing device.

The results show that it is hard to tell what makes a good in-earheadphone sound good. d-Jays frequency responce is hard to place in a special category. The tests that were performed gives way that d-Jays does not have a frequency response as a reference speaker, but rather some caracter. It could how ever depend on a mistake in the physical construction. What sounds good is, as always, what the user think sound good.

d-Jays have noise reduction properties. They work well in places where there is noise in midrange frequencys. Wich is usefull in spaces where human speach is the main source of noise. It does not how ever seem to work good in high frequencies. Wich makes it no good for use in for example industies where that kind of noise is present. The prototype showed a better performance for high frequency noise. None of them gives as high attenuation as an correctly inserted earplug of industry standard does. Still with some caution and depending on the amount of noise it could be used as an alternative to an earplug.

Innehållsförteckning

1 - Inledning........1
1.1 Bakgrund........1
1.2 Ord från Jays........1
1.3 Problembeskrivning........2
1.4 Syfte och mål........2
1.5 Avgränsningar........2
2 - Teori........3
2.1 Hörselgångens storlek........3
2.2 Överföringsfunktioner till örat........4
2.3 Sammansatta väggars reduktionstal........6
2.4 Passiv dämpning/ hörselskyddegenskaper........7
3 - Metod........11
3.1 Funktionsanalys........11
3.2 Utvärdering av audioegenskaper........13
3.2.1 Uppställning........13
3.2.2 Test 1 - Lurens egenskaper........14
3.2.3 Test 2 - Jämförelse med andra audiolur........14
3.2.4 Test 3 - Jämförelse med högtalarens ideala frekvensrespons........14
3.3 Test av passiv dämpning........15
3.3.1 Utförande av testet........15
3.3.2 Uppställning vid test av passiv dämpning........16
4 - Resultat........17
4.1 Audioegenskaper........17
Test 1 – Lurens egenskaper........17
Test 2 – Jämförelse med andra lurar........18
Test 3 - Jämförelse med högtalarens ideala frekvensrespons........20
4.2 Hörselskyddsfunktion........22
5 – Diskussion och slutsattser........26
Allmänt........26
Metod........26
Resultat........26
Slutsatser om ljudåtergivningen........28
Slutsatser om ljuddämpningen........29
Testsleevens funktion........29
Förslag på ytterligare arbete........29
Litteraturlista........30

Bilagor

Bilagor..I
1. Leverantörers data på lurar använda i arbetet..I
2. Passivdämpnings test..III
ISO krav för mätningar av hörselskydds funktion..III
Förhållanden i vald lokal för tester..III
Tabeller för uträkning av APV, H-M-L och SNR värden..IV
Tabeller för redovisning av ljuddämpnings tester..V
Testformulär..VII

1 - Inledning

1.1 Bakgrund

Denna rapport är det skrivna resultatet av det examensarbete som avslutar en högskoleingenjörsutbildning i ljuddesign inom Arena media musik och teknik.

Uppgiften har varit att utvärdera en audiolur av typen in-ear samt att förbättra den i avseende att öka dess förmåga att eliminera bakgrundsljud samt sitta bekvämt och fast i örat. Audioluren är en produkt från företaget Jays AB. Idén tillkom av att författaren till det här arbetet sökte efter nya hörlurar och kände ett allmänt intresse av hörseln och hur man skyddar den. Jays var vid projektets start, ett nytt företag med huvudkontor i Västerås. De skapar och säljer audioprodukter med inriktning mot portabel lyssning. Deras första egenproducerade produkt är auidoluren d-Jays som är uppbyggda runt en högtalarkonstruktion som framställts med hjälp av ett patent från 1914. Skalet är designat med tanke på bekvämlighet och utseende. Tanken är att produkten skall ersätta de enkla lurarna som följer med många av dagens bärbara audiospelare. Författaren tyckte att detta lät intressant och tog kontakt med Jays som nappade på idén att utvärdera deras lur i ett examensarbete.
Utgångspunkten för arbetet är d-Jays i grundutförande. Jays har en önskan att förbättra produkten för användarens behov när det gäller passiv ljuddämpning och bekvämlighet. I ett vidare perspektiv har författaren tänkt undersöka hur en audiolur av in-ear typ kan utvärderas i jämförelse med andra på ett bra sätt.

1.2 Ord från Jays

Egenskaperna hos medföljande hörlurar motsvarar mycket sällan den ljudkvalité som portabla mediaspelare kan erbjuda. Inte heller har hörlurarna de eftertraktade egenskaper och den goda kvalité och hållbarhet som kunderna efterfrågar. Detta beror på att man koncentrerar sig på sin huvudprodukt, samt att kostnaden för de medföljande hörlurarna i regel ska hållas mycket låg.

Jays, ett svenskt privatägt aktiebolag och internationellt registrerat varumärke, specialiserar sig på att designa, utveckla och marknadsföra högkvalitativa hörlurar med egenutvecklad teknologi för en ökad lysningsupplevelse Jays första produkt, d-Jays, reducerar ljudet från omgivningen upp till 90% och erbjuder en överlägsen ljudkvalitet tillsammans med en ergonomisk utformning för bästa tänkbara komfort. d-Jays använder en teknologi med armaturer som ursprungligen baseras på ett patent från 1914 av Henry Egerton och som idag används i produkter för artister världen över.

JAYS målgrupp är människor som gillar att lyssna på musik och som spenderar mycket tid med portabla enheter. JAYS ska leva upp till de förväntningar som ställs på ett svenskt företag med skandinavisk design, som är känd som konstnärlig och utmanande. Tillsammans med talangfulla industridesigners och ingenjörer är JAYS mål att skapa extraordinära produkter.

1.3 Problembeskrivning

d-Jays är tältslutande lurar som dämpar ljud från omgivningen, men de har potential att bli ännu bättre i det avseendet. En tät lur kan göras tätare om den sitter bättre fast i örat. Även bekvämligheten kan förbättras. Då Jays vill tillverka produkter som blir billiga och bra för konsumenten finns även krav på att designen skall vara lättförståelig och lätt att tillverka på annan ort.

Figur 1: d-Jays orginalsleeve[Jays]

1.4 Syfte och mål

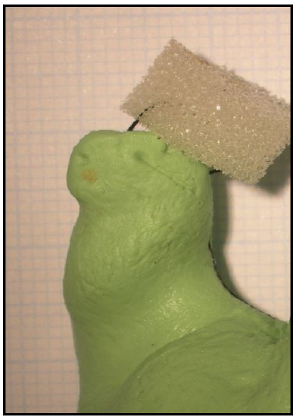
Syftet med arbetet är att undersöka och förbättra hörluren d-Jays. Arbetet skall ge underlag för hur man kan utvärdera in-ear lurar i avseendet bullerreducering och ljudkvalitet.
Målet är att ta fram ett förslag på hur man kan förbättra en detalj hos produkten i avseende bullerdämpning och bekvämlighet.

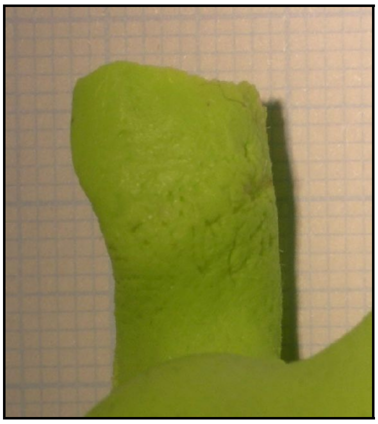
1.5 Avgränsningar

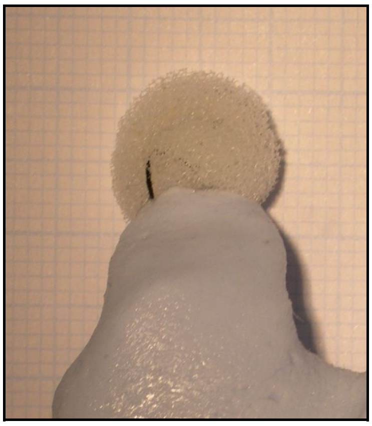
Projektet har fått en del avgränsningar på grund av den korta tiden som avsatts för det. Den teoretiska och analytiska delen av arbetet kommer att prioriteras. Den del som avser design och framtagning av en fysisk förbättring av hörluren kommer att begränsas så mycket som möjligt.
Intervjuer har begränsats till muntliga utsagor och snabba anteckningar. Beräkningar och undersökningar görs med hjälp av testobjekt som författaren har ansett vara jämförbara med verkligheten, i tester avsedda för det här arbetet. De kommer förmodligen inte vara lämpliga för användning i andra sammanhang.

2 - Teori
För att genomföra undersökningarna på ett så bra sätt som möjligt krävs en del teoretisk bakgrund. Först behövs en undersökning av örat och dess fysiologi. Här har valts att undersöka hur hörselgångar skiljer sig från varandra. Samt om det är möjligt att undersöka om örats fysiska utformning påverkar det ljud som uppfattas av olika personer. Några saker som kan förväntas påverka den ljuddämpande förmågan hos luren tas också upp.

2.1 Hörselgångens storlek
Hörselgången precis som allt annat i människokroppen, skiljer sig från person till person. I boken Audioteknik och akustik står det att hörselgången är ca 25mm lång och med en genomsnitts diameter av ca 7mm [Kleiner].
Hörselgångens bredd skiljer sig dock mycket, varför ett antal kort på avgjutna hörselgångar togs för att få en idé om hur stor skillnaden kan vara. Bilderna nedan visar hörselgångar som avgjutits på Sunderbyns sjukhus utanför Luleå. Utifrån dessa gör man sedan den del på hörapparaten som sitter fast i hörselgången.


Figur 2:Avgjutning av hörselgång ca 12 mm


Figur 3: Avgjutning av hörselgång ca 9mm

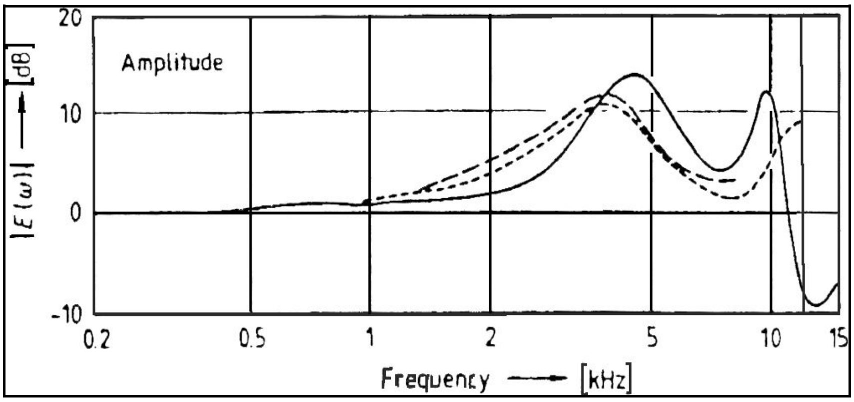

Figur 4: Avgjutning av hörselgång ca 14mm

Bredden som angivits i bilderna är ungefärliga. Det som skall visas är att det kan skilja flera millimeter från person till person. Vad som inte syns på bilderna är att hörselgången inte heller är absolut rund utan i de flesta fall oval. Hörselgången är inte heller helt rak utan lätt S-formad. Hörselgångsmynningen kan dessutom ha en liten klack innan själva hörselgången börjar.

2.2 Överföringsfunktioner till örat

Örats utformning ger en speciell överföringsfunktion för varje öra. Överföringsfunktionen är en matematisk representation av sambandet mellan signal och utsignal av ett linjärt tidsvariant system. [WIKI] Den beror bland annat på hur individens axlar, ytteröra och hörselgång ser ut. Kort sagt hur vi hör beror på hur vi är skapta.

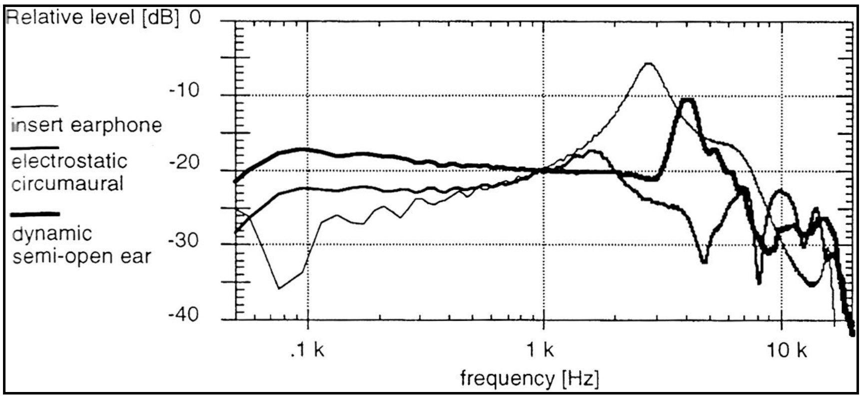
Vid ljudvåglängder **λ**, där hörselgångens längd **l** svarar mot ca **(1+2n)λ/4** (**där n = 0,1, 2, 3...)**kommer hörselgången att fungera som en så kallad kvartsvågsresonator. Detta innebär att örat är känsligt för frekvenser med denna våglängd, vilket är runt 3,5kHz baserat på att hörselgången är ca 25mm lång. Figur 5 visar beräknade överföringsfunktioner för ljudtryck vid hörselgångens mynning till trumhinnans yttersida.



Figur 5: Exempel på mätta överföringsfunktioner [Kleiner]

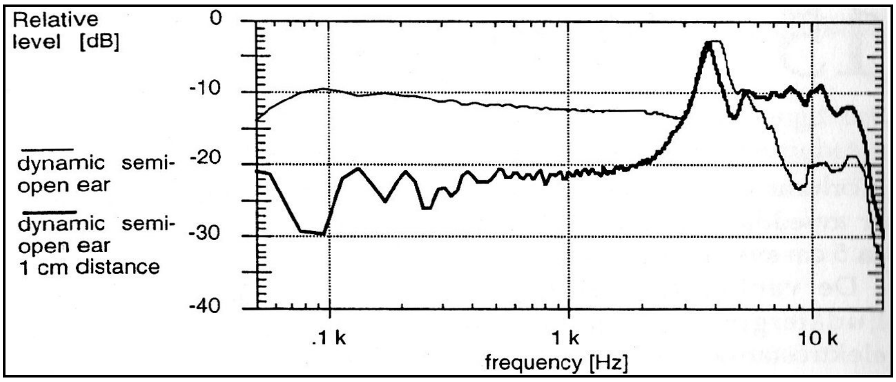
I det här arbetet ses hörselgången som en sluten volym när hörluren placeras i örat. Då kommer hörselgången istället att fungera som en halvvågsresonator. Dessutom kommer axlarnas och ytterörats inverkan på frekvensresponsen inte heller med.

Figur 6 nedan visar frekvensresponsen hos olika typer av hörlurar. Den tunnaste linjen beskriver en hörlur som placerats i hörselgången. Tyvärr har det inte angivits i källan hur dessa är uppmätta.



Figur 6: Exempel på frekvensrespons från olika hörlurstyper [Kleiner]

Liksom springor påverkar reduktionstalet hos en väggkonstruktion så påverkar de också hur en hörlur låter. Figur 7 visar överföringsfunktionen hos en dynamisk halvöppen hörlurskonstruktion som flyttats 1cm ur position.



Figur 7: Frekvensrespons från hörlur tätt mot örat respektive en centimeter bort [Kleiner]

2.3 Sammansatta väggars reduktionstal

Om en konstruktion som skiljer två medier inte är homogen, beräknas reduktionstalet som en summa av de olika delelementen. Även mycket små öppningar kan medföra att reduktionstalet sjunker markant. Det är inte helt klar om energimetoden kan användas för just den här beräkningen, som avser en gräns mellan flermodsområdet till nollmodsområdet. Eller rättare; den inneslutna luften i hörselgången och luften utanför. Men då detta är den bästa förklaringen på fenomenet, så används den som referens.

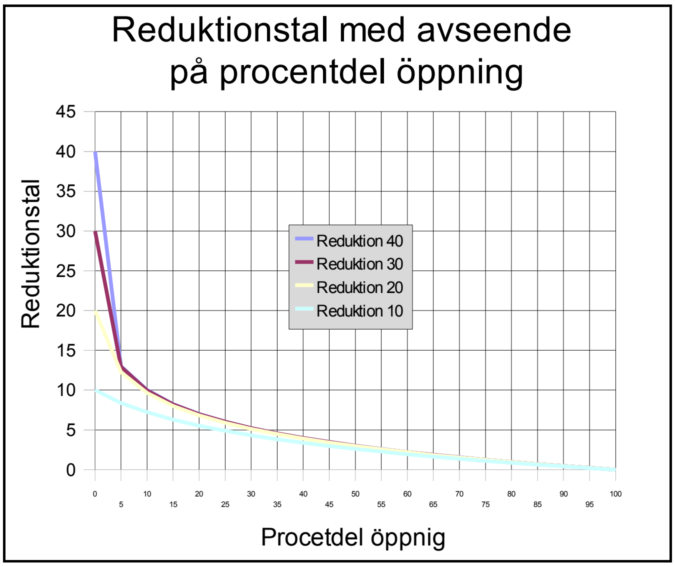
Reduktionstalet för den sammansatta konstruktionen blir. [Wallin]

$$R = 10 \log \frac{S}{\sum_n S_n * 10^{(-R_n/10)}} \qquad [1]$$

S = Den sammansatta ytan
R = Reduktionstalet för konstruktionen,
n = De olika delelementen,

$$S = \sum_n S_n \qquad [2]$$

I figur 8 kan man avläsa att om en springa eller ett hål i en väggkonstruktion överstiger 10% så fungerar de flesta väggar lika dåligt. Reduktionstalet för springan sätts till 0.



Figur 8: En springas inverkan på det totala reduktionstalet hos en avskärmande konstruktion

Detta är intressant för arbetet då en öronpropp, oavsett om den är av silikongummi, skumplast eller annat material erbjuder ett skydd, enbart så länge det fungerar som tillverkaren har tänkt. När ett hörselskydd sitter i örat och man rör på käken eller på öronen så kan det hända att proppen flyttar på sig. En skummöronpropp som använts flera gånger tar längre tid på sig att expandera och en silikonpropp som inte sitter exakt som den skall, kan lämna en glipa mellan materialet och hörselgångsväggen.

2.4 Passiv dämpning/ hörselskyddsegenskaper

Den undersökning som skall göras av d-Jays passiva dämpnings förmåga kommer att göras i enlighet med ISO standarder för hörselskydd. Vissa förenklingar och avsteg kommer att ske på grund av bland annat de tillgängliga lokalernas beskaffenhet.
Det som redovisas här är en förkortad del av standarden och det som inte används direkt i detta arbetet, har inte tagits upp.

ISO 8253-2 Akustik – Audiometriska mätmetoder – Del 2:Ljudfältsaudiometri med rena toner och smalbandiga testsignaler [ISO1]
Den här standarden beskriver behörighetskrav och procedurer för genomförande av grundläggande tester av lägsta hörnivå i ett ljudfält. Båda öronen testas samtidigt.

Tester skall utföras av kvalificerad personal. Vilket är en person som gått erforderliga kurser och godkänts av myndigheter eller lämplig organisation.

Hörseln testas genom att ett smalbandigt brus spelas upp med en förutbestämd ordningsföljd. Testpersonen signalerar när ett ljud uppfattas och testledaren antecknar resultatet i därför avsett diagram.

Testledaren skall ta ställning till följande aspekter av testet som inte är specificerade i standarden.

- Vilket öra skall testas först? oftast det som anses mest känsligt.
- Behövs maskering?
- Finns störande omgivningsljud eller andra saker som kan göra testet ogiltigt?
- Skall testet pausas, göras om eller helt avbrytas?

Testet får inte fortgå i mer än 20 minuter utan avbrott då resultaten kan påverkas av att testpersonens uppmärksamhet och koncentration minskar.

Övriga krav på lokal och testutrustning som tas hänsyn till finns i bilaga 2 - ISO krav för mätningar av hörselskydds funktion.

ISO 4869-1:1990 Akustik – hörselskydd del 1 Subjective method for measurement of sound attenuation [ISO2]
Den här metoden är avsedd att finna hörselskyddets maximala skyddsfaktor. Vilket normalt är svårt att uppnå utanför testplatsens optimala förhållanden. Anledningen till standardens utformning är att det bästa sättet för att kunna upprepa testet med likvärdigt resultat på annan plats. De värden man får fram gäller endast då hörselskyddet används på det sätt som gjordes under testet. Testen utförs vid väldigt låga ljudtryck, nära gränsen för vår hörtröskel. Men de värden som erhålls är representativa, även för högre ljudtrycksnivåer.

Mätningen går ut på att man spelar upp signaler bestående av rosa brus i oktavbanden 63, 125, 250, 500, 1k, 2k, 4k, 8k Hz.

Testpersonen placeras i ett diffust ljudfält där bruset spelas upp med olika ljudtrycksnivåer i intervall om 1-2 sekunder och i en bestämd följd. Innan testet utförs har man, genom ett antal lätta övningar, kontrollerat att propparna inte läcker och sitter som de skall när de används rätt.

När bruset spelas upp skall testpersonen ange när ljudet hörs genom öronproppen. Testledaren markerar i ett diagram vid vilken nivå på ljudet som testpersonen uppfattat det. I övrigt följer testet de krav som ställs i ISO 8253-2 [ISO 1]
Metoden ger ett medelvärde och en standardavvikelse för ljuddämpningen som skyddet ger.

ISO 4869-2:1990 Akustik - Hörselskydd del 2: Uppskattning av effektiv A-vägd ljudtrycksnivå vid användning av hörselskydd [ISO 3]
När man fått den uppskattade dämpningen i oktavband, skall det bestämmas ett värde som svarar mot dämpningen i en viss bullermiljö. Ofta har man inte tillgång till några oktavbandsmätvärden på bullret och därför är det bra med de förenklade metoder som beskrivs i den här standarden. De värden som man sedan får fram används för att beräkna den effektiva A-vägda ljudtrycksnivån L'_{Ax} innanför hörselskyddet.

Beräkning av hörselskyddets förväntade skyddseffekt APV_{fx} (Assumed protection value) för en vald skyddsgrad. APV beräknas för varje oktavband i området 63 till 8kHz genom följande ekvation.

$$APV_{fx} = m_f - \alpha s_f \qquad [3]$$

Index f representerar oktavbandets mittfrekvens;
Index x representerar den valda skyddsgraden; Vilket betyder att hörselskyddet fungerar som det är avsett 84% av den tid det används.
m_f är medelvärdet för ljuddämpningen enligt ISO 4869-1;

s_f är standardavvikelsen för ljuddämpningen enligt ISO 4869-1; α är en konstant enligt Tabell 1 oftast används en antagen skyddsgrad på 84%. Skyddsgraden är den procentuella andelen situationer för vilken den effektiva A-vägda ljudtrycksnivån när hörselskyddet bärs är lika med eller mindre än det beräknade värdet. I det här arbetet kommer bara beräkningar göras med skyddsgrad 84%.

Tabell 1: Värden för α för olika skyddsgrad x

Skyddsgrad x, %	Värde på α
75	0,67
80	0,84
84	1
85	1,04
90	1,28

APV_{fx} värdet kan sedan användas för att beräkna vad ljudnivån L'_{Ax}, blir innanför hörselskyddet i en bestämd bullersituation. Detta värdet används även för att beräkna H- M- L- och SNR värden för skyddseffekten.

H- M- L (hög- mellan- låg- frekvens) – metoden
Vid utnyttjande av H-M- L- värden krävs både en A- och en C-vägd mätning av bullersituationen där hörselskyddet skall användas.
Beräkning av ett hörselskydds H-, M- och L-värden är baserade på ett referensspektra för åtta olika buller med A-vägd ljudnivå 100dB, med en skillnad mellan C och A-vägd ljudnivå $L_C - L_A$ (tabell 2) och den förväntade skyddseffekten APV_{fx} för hörselskyddet.

Tabell 2: A-vägda ljudtrycksnivåer i oktavnad, $L_{af(k)i}$, för åtta referensbuller, normaliserade till en A-vägdljutrycksnivå av 100dB, (L_c-L_a)-värden och konstanter d_i

i	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	8000Hz	L_c-L_a
1	51,40	62,60	70,80	81,00	90,40	96,20	94,70	92,30	-1,20
2	59,50	68,90	78,30	84,30	92,80	96,30	94,00	90,00	-0,50
3	59,80	71,10	80,80	88,00	95,00	94,40	94,10	89,00	0,10
4	65,40	77,20	84,50	89,80	95,50	94,30	92,50	88,80	1,60
5	56,30	77,40	86,50	92,50	96,40	93,00	90,40	83,70	2,30
6	70,70	82,00	89,30	93,30	95,60	93,00	90,10	83,00	4,30
7	75,60	84,20	90,10	93,60	96,20	91,30	87,90	81,90	6,10

Första steget är att ta fram PNR värdet (Predicted noise reduction eller beräknad bullerreduktion) vilket är skillnaden mellan den A-vägda ljudtrycksnivån för bullret $L_{A,}$ och den effektiva A-vägda ljudtrycksnivån L'_{Ax}, när ett givet hörselskydd används. Detta värdet beräknas som:

$$PNR_{xi} = 100\text{dB} - 10\, lg \sum_{k=1}^{8} 10^{[0,1(L_{af}(k)i - APV_f(k)x)]} dB \qquad [4]$$

för ett givet värde på APV_{fx}.
Värden för $L_{Af(k)i}$ och d_i utläses ur tabell 2.
Index i representerar referensspektrumets nummer.

Därefter beräknas H-, M-, L-värdena enligt följande.

$$H_x = 0,25 \sum_{i=1}^{4} PNR_{xi} - 0,0,48 \sum_{i=1}^{4} d_i PNR_{xi} \qquad [5]$$

$$M_x = 0,25 \sum_{i=5}^{8} PNR_{xi} - 0,16 \sum_{i=5}^{8} d_i PNR_{xi} \qquad [6]$$

$$L_x = 0,25 \sum_{i=6}^{6} PNR_{xi} - 0,42 \sum_{i=6}^{3} d_i PNR_{xi} \qquad [7]$$

De resulterande H_x -, M_x- och L_x värdena skall avrundas till närmaste heltal.

SNR (enkelvärde för dämpning) - metoden

Beräkningen av SNR_x värden baseras på ett bestämt skärt bullerspektrum och den förväntade skyddseffekten APV_{fx} för hörselskyddet. SNR_x är oberoende av det bullerspektrum, för vilket det tillämpas, och beräknas enligt följande ekvation.

$$SNR_x = 100\text{dB} - 10\,lg \sum_{k=1}^{8} 10^{[0,1(L_{(Af(k))} - APV_{(f(k)x)})]} dB \qquad [8]$$

Bullerspektrumet $L_{af(k)}$ fås ut tabell 3 nedan.

Det resulterande SNR_x – värdet skall avrundas till närmaste heltal.

Tabell 3: Ljudtrycksnivåer för skärt brus i oktavbandsmittrekvenser

Oktavbandsmittfrekvens, f, Hz	**63**	**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**
$L_{Af(k)}$ dB	65,3	75,4	82,9	88,3	91,5	92,7	92,5	90,4

3 - Metod

3.1 Funktionsanalys

Som antytts tidigare är det en förbättring av sleeven som kommer undersökas i det här arbetet. Sleeven är den fysiska kopplingen mellan hörlurskroppen och örat.
Den här delen av arbetet ersätter och förkortar utvecklingsfasen av en prototyp av en ny sleeve. De saker som författaren och uppdragsgivaren vill att en den skall uppfylla är följande.

Jays önskemål

- Sleeven skall ge bättre ljuddämpning än originalet
- Bekvämligheten prioriteras
- Design och utseende är viktigt
- Nytänkande, viktigt att patent inte kommer i vägen

Författarens egna tankar

- Sleeven skall gå att använda på övriga Jays hörlurar
- Sleeven skall vara hållbar
- Sleeven skall gå att göra om till öronpropp
- Sleeven skall gå att tillverka med medel som står författaren till buds

Andra uttalanden om hörluren har tillkommit under arbetet genom frågeformulär och muntliga diskussioner. Frågeformuläret finns redovisat i bilaga 2 sidan 7. Svaren är tolkade och därför inte redovisade i sin helhet. Fokus låg på att undersöka förbättringsmöjligheter.

- ”Propparna har en tendens att krypa ut”
- ”De är för stora”
- ”Det känns konstigt när man pratar och har dem i öronen”
- ”Det gör ont att ha öronproppar eller nått annat i örat, det är obehagligt.
- ”Det är fult med saker som sticker ut ut örat”
- ”De böjer sig när man trycker in dem i örat”

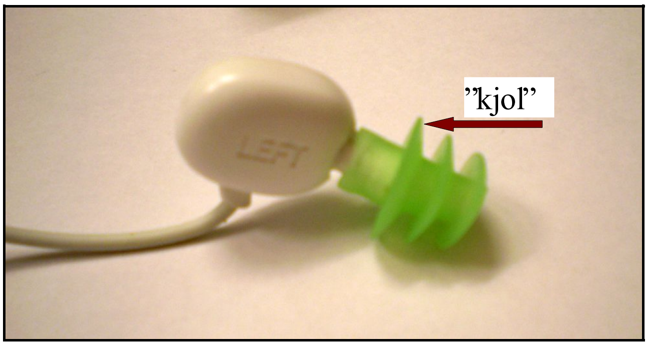
Problemet med en sleeve som passar dåligt i örat är inte bara bekvämligheten utan även ljuddämpningen. En för liten propp ger inget tryck mot hörselgångsväggarna och med det följer en sämre tätning och en sämre dämpning.
När proppen är för stor kan även detta medföra att dämpningen blir sämre.
Enligt beräkningar för sammansatta väggar i kapitel 2.1 tappar en vägg en stor del av sin ljuddämpande förmåga om det finns en liten del av den som är öppen. Om sleeven är för stor och materialet sådant att det veckar sig. Då kan det komma att se ut som på Figur 9 nedan.

Figur 9: För stor sleeve

Figur 10: Lagom sleeve

Ett sätt att undvika detta är att använda olik stora lager för att forma en granliknande propp. Alternativt en skumpropp som ligger an mot en större del av hörselgången. I de test som skall utföras kommer därför en modifierad öronpropp användas som sleeve. Den har valts med avseende på likhet till det som författaren tror kan vara en lösning på de problem som ställts upp ovan.

Öronproppen har fått sin hårda kärna samt den minsta av ”kjolarna” (se figur 11) borttagna för att den skall gå att använda som sleeve. Den nya sleeven förväntas sitta fast bättre i örat med sina ”kjolar” som fungerar som hullingar mot hörselgången. Den är något smalare än orginalsleeven och av ett mjukare material vilket är bra för bekvämligheten.



Figur 11: Testsleeve på d-Jays

När det gäller ljuddämpningen är förväntningen att den skall fungera minst lika bra som orginalsleeven. Då den inte är en fulländad produkt och bara finns i en storlek är det inte säkert att alla testpersoner kan använda den. Den är heller inte helt anpassad till luren när det gäller hur den sitter fast på hörlurskroppen.

3.2 Utvärdering av audioegenskaper

För att ta reda på hur audiolurarna låter behövs ett verktyg som i rätt miljö för audioluren, kan visa dess frekvensgång. Därför kommer ett antal försök göras med vad som här kommer kallas artificiell hörselgång. Resultatet av den här delen av arbetet skall dels ge en utvärdering av d-Jays som audiolur. Det skall även ge en idé om huruvida man kan utvärdera andra hörlurar med samma metod.

3.2.1 Uppställning

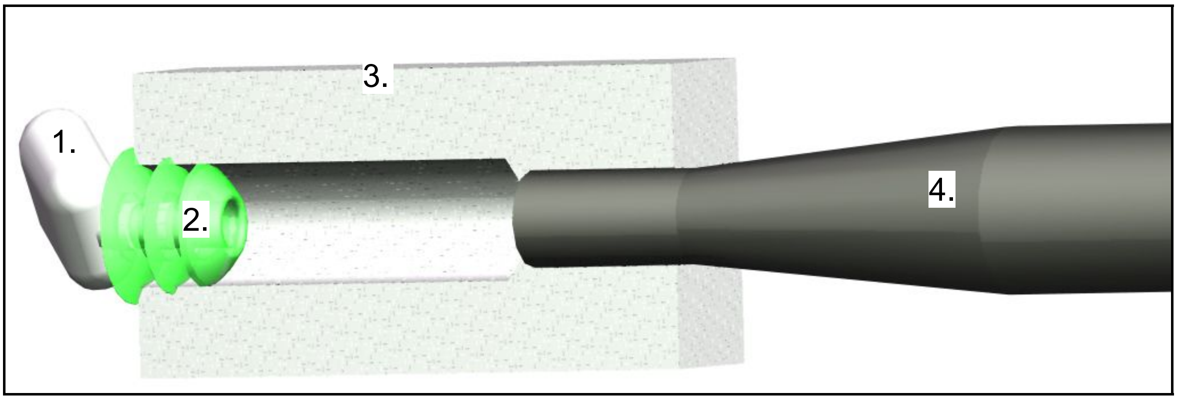
Två artificiella hörselgångar har tillverkats i ABS plast, de är gjorda i en rapid prototyping maskin som heter Dimension. Den bygger upp en fysisk modell i lager av smält plast som stelnar under processen.

Figur 12: Rapid prototyping maskinen Dimension

Måtten på de artificiella hörselgångarna är följande

1. längd 30mm, diameter 8mm
2. längd 30mm, diameter 10mm

Som nämns i avsnitt 2.1 har människor i regel inte samma storlek och form på hörselgången, vilket gör det svårt att anta en norm. I det här arbetet anses 8mm i diameter och 25 mm vara så nära ett medelvärde som möjligt för att fungera med de sleeves som finns tillgängliga. I Audioteknik och akustik [Kleiner] står det att 7mm är nära medelbredden. Men här tas alltså ett medvetet avsteg från det för att passa mätningarna bättre. De extra 5mm på längden är den del som fortfarande är ytteröra där in-ear lurar oftast placeras. Den hörselgång som är 10mm är till för att möjliggöra tester med fler antal lurar då d-Jays har ett ganska smalt ljudrör medan de billigare lurarna har ganska grova ljudrör.



Figur 13: In-ear lur i artificiell hörselgång 1. In-ear lurens kropp innehållande högtalarelement 2. Gummi sleeve 3. Artificiell hörselgång 4. mikrofon

Mätsystemet som används är Clio Win 7.3 med en elektretmikrofon MIC-01 (serienummer 96AUO115) känslighet 16.6mV/Pa, polarisations spänning 8.2V impedans 5.6Kohm.

Mikrofonen fästs i hålet på ena sidan. Hålet är anpassat till mikrofonen och sluter tätt. Hörluren sätts in i hålet på andra sidan, så långt in så att den yttersta kanten på sleeven hamnar ”kant i kant” med hålets yttre kant.

3.2.2 Test 1 - Lurens egenskaper
Tanken med testerna är att se hur luren spelar under olika förutsättningar och vad som händer när man till exempel använt luren några dagar och det har kommit lite vax på dammfiltret. Dessa tester är avsedda att visa hur d-Jays låter i olika sammanhang, samt få reda på hur och om frekvensresponsen påverkas, av den testsleeve som skall fungera som tänkt förbättring av lurens ljuddämpande egenskaper.

Följande tester kommer genomföras.
1. d-Jays, sinussvep, kort 0,8cm, höger mot vänster, nya rena dammfilter
2. d-Jays, sinussvep, kort 0.8cm, höger mot vänster, använda rengjorda dammfilter
3. d-Jays, sinussvep, kort 0,8cm, höger mot vänster inga dammfilter

3.2.3 Test 2 - Jämförelse med andra audiolur
När man vill förbättra ljudet i en högtalare eller i det här fallet ljudet från en hörlur så vill man gärna jämföra med en produkt som redan låter bra för att hitta sitt ideal. Därför skall d-Jays jämföras med en dyrare lur. I resultatet kommer även frekvensrespons kurvor från andra hörlurar jämföras med d-Jays. Vidare skall det undersökas vad som egentligen avgör frekvensresponsen hos en in-ear lur. Följande undersökningar skall göras.
1. Jämförelse mellan d-Jays och Shure e3C
2. Jämförelse mellan d-Jays och Koss Sparkplugg
3. Jämförelse mellan övriga uppmätta lurar och d-Jays

3.2.4 Test 3 - Jämförelse med högtalarens ideala frekvensrespons
När man lyssnar på musik så är det i stort sett alltid bara ljudteknikern som hört precis hur han tänkt att den skall låta. Om han haft högtalare och en lokal för lyssning som inte påverkat ljudet på annat sätt än han avsett. Då kan man rent teoretiskt skapa samma ljudbild på ett annat ställe med samma egenskaper. Detta är dock knappt möjligt i praktiken.

Det här testet avser undersöka huruvida in-ear hörlurar kan jämföras på samma sätt som en högtalare. Eller om det finns andra vägar att gå, för att beskriva teoretiskt hur bra en hörlur låter. Jämförelse skall göras med beräknade och uppmätta överföringsfunktioner.

3.3 Test av passiv dämpning

3.3.1 Utförande av testet

Standarder för hörselskydd och undersökning av hörtröskel har tolkats och kommer i arbetet användas enligt de test som redovisas nedan.
Ytterligare uppgifter har lagts till för att få mer nytta av undersökningen, i frågor som design och ljudkvalitet. Genomförandet av testen bygger på en mängd olika standarder och vissa avkall på de samma fått göras, då lokalen som fanns tillgänglig inte helt uppfyller alla krav. Hörseltesten kommer endast vara vägledande för det här arbetet då testledaren inte är behörig att utföra test för annat bruk.

Testproceduren steg för steg

1. Testpersonen, en person som genomgår test eller som provar utrustning under ledning och översyn av testledare, placeras i ett rum som är avsett för testet. Alla genomföranden kommer ske i samma rum. Personen måste sitta bekvämt och på avsedd plats.
2. Testpersonen får själv välja mellan de 4 olika storlekarna på sleeves och meddelar vilken. Personen får lyssna på musik på låg ljudnivå för att underlätta tillpassning. Musiken får testpersonen själv välja ur ett tillgängligt arkiv.
3. När testpersonen hittat den sleeve som passar bäst får han/hon ta ur lurarna och vänta en stund för att öronen skall vara avslappnade innan testet börjar.
4. Första testet görs utan några öronproppar för att utröna lägsta möjliga hörnivå. Detta utförs med standard ISO 8253-2 [ISO 1] som referens.
5. Testpersonen får några enkla frågor att svara på. Till exempel. ”vad tyckte du om ljudet, designen och bekvämligheten hos luren.” Detta utifrån ett färdigt frågeformulär. Se bilaga 2 Testformulär
6. Testet av de olika propparna görs sedan utifrån standard ISO 4869-1:1990 [ISO 2] och resultatet fylls en tabell framtagen för ändamålet. Se bilaga 2- Tabeller för redovisning av ljuddämpande förmåga.
7. Steg 6 upprepas med d-Jays original, den modifierade öronproppen som sleeve och med en industripropp.

Då det endast finns en storlek på den modifierade öronproppen och på industriproppen förväntas dessa tester bli något osäkrare än de för d-Jays orginalsleeve som finns i flera olika storlekar. Alla testpersoner ombeds att i alla fall prova om de kan använda den.

3.3.2 Uppställning vid test av passiv dämpning

Utförlig beskrivning av miljön kring testet redovisas i bilaga 2 - Förhållanden vid test av passiv dämpning. Testet utfördes med testpersonen och testledaren i separata rum. Ljudet spelades genom en högtalare placerad i ena änden av rummet avsett för testen.

Figur 14: högtalare använd vid alla brustester

Figur 15: mikrofon i lyssningsposition

För att kunna avgöra hur stor förstärkning varje steg på förstärkaren ger, gjordes en referensmätning av ljudtrycksnivån i lyssnings-positionen. Resultatet av mätningen presenteras i bilaga 2 – Tabeller för uträkning av APV i tabell 12. Den används sedan för att avgöra lägsta hörbara nivå i dBSPL (decibell Sound presure level) vid dämpningstestet.

Skillnaden mellan den lägsta hörnivån utan propp och lägsta hörnivån med proppen applicerad ger medelvärdet m i ekvation [3]. Ett medelvärde för alla tester samt standardavvikelsen mellan mätningarna ger ett antaget dämpningsvärde APV.

Det översätts sedan enligt ISO 4869-2 till siffror som används för beskrivning av öronproppars dämpande förmåga det vill säga. H-M-L och SNR värde.

4 - Resultat

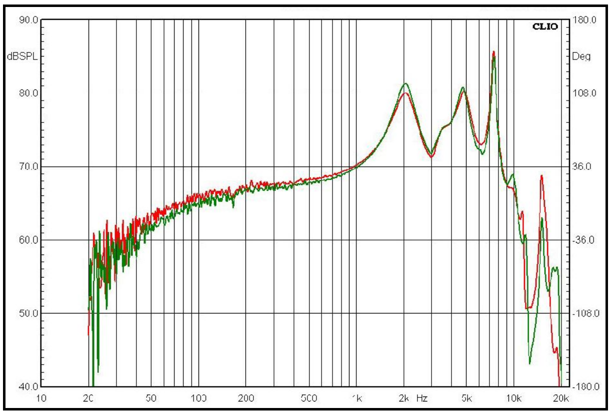
4.1 Audioegenskaper

Följande test avses klargöra hur d-Jays låter och vad som påverkar dem negativt och positivt i det avseendet. Hur de låter i förhållande till andra populära hörlurar och om man kan ge en generell bild av hur lurar på ett bra sätt kan jämföras med varandra.

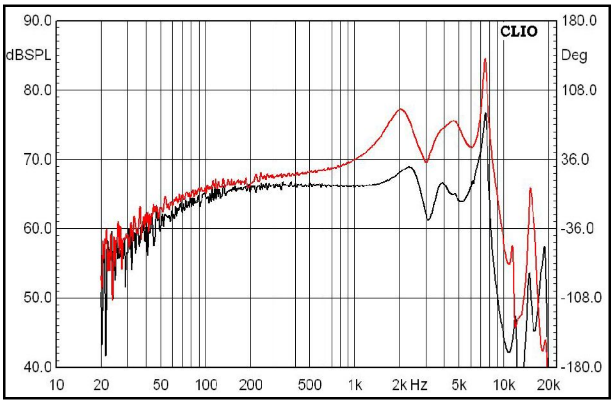
Test 1 – Lurens egenskaper

Första undersökningen visar hur d-Jays frekvensgång ser ut, i den artificiella hörselgången som är 10mm i diameter. Olika tänkbara situationer som luren används under har undersökts.

Det är en liten men tydlig skillnad på frekvensgången på höger och vänster hörlur. De kan bero på små skillnader i hur luren satts i den artificiella hörselgången.



Figur 16: d-Jays med nya dammfilter. Grön höger, röd vänster

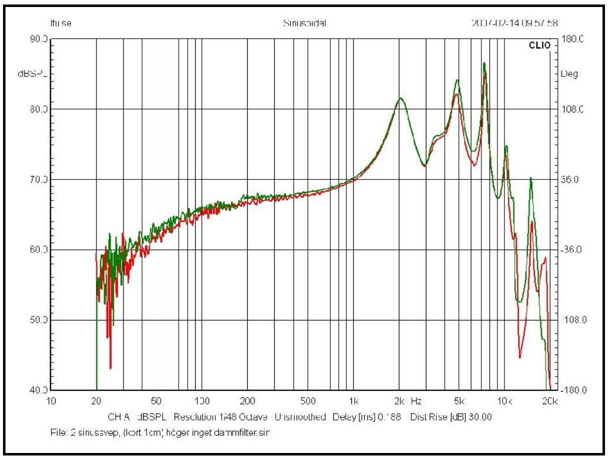


Figur 17: Använda dammfilter svart höger mot röd vänster

Mätningen visar att d-Jays har många tydliga toppar som ligger på nästan 10dB. Dessa måste inverka kraftigt på ljudupplevelsen. Mer om det förväntas genom test 3.

Den andra mätningen som gjordes var med använda dammfilter. Eftersom användaren kan ha gott om vax i örat och man pressar in ”tappen” en bit i hörselgången för att få luren på plats. Resultatet av svepet ser man i figur 17.

Här märks skillnaderna markant, trotts att dammskydden inte ser så använda ut så påverkar de ljudet mycket. Lurens högtalarelement är känsligt för damm och föroreningar vilket gör dammskyddet viktigt. Dammskyddet påverkar ljudet en hel del om det inte hålls rent.



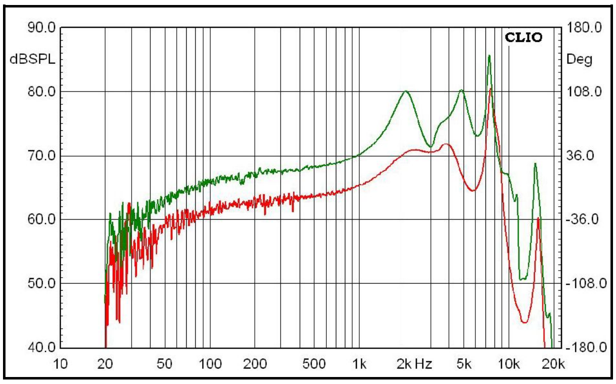
Figur 18: d-Jays utan dammfilter grön höger, röd vänster

När luren inte har några dammfilter så ser frekvensresponsen ut enligt figur 18.

Skillnaderna är mycket små jämfört med figur 16. Enda skillnaden tycks vara den topp som framträtt vid 10kHz och en liten förstärkning på toppen vid ca 5khz. Detta tyder på att dammfiltret ger ett visst strömningsmotstånd för våglängden 3,4 och 6,8 cm. Dessa våglängder hör inte ihop med med hörselgången vilket visas tydligare i test 3.

Test 2 – Jämförelse med andra lurar

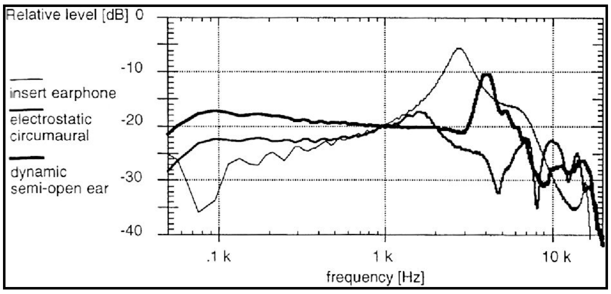
För att ge en bra bild av d-Jays i förhållande till andra lurar måste alla lurar testas på samma sätt. Här har bara den artificiella hörselgången med öppning på 0,8cm använts. Uppställningen är den som anges i kapitel 3.2.1. När MLS pulser har använts är det angivet i metoddelen med samma namn som testet, övriga har gjorts med sinussvep.



Figur 19: d-Jays grön, E3C röd

I figur 19 är den gröna (översta) grafen d-Jays och den undre Shure E3C båda är vänsterlurar.

Båda verkar ha en likartad tanke med responsen upp till 1kHz. Därefter skiljer de sig utom toppen vid ca 7,5kHz och upp mot 15kHz. Dessa är multiplar av varandra.



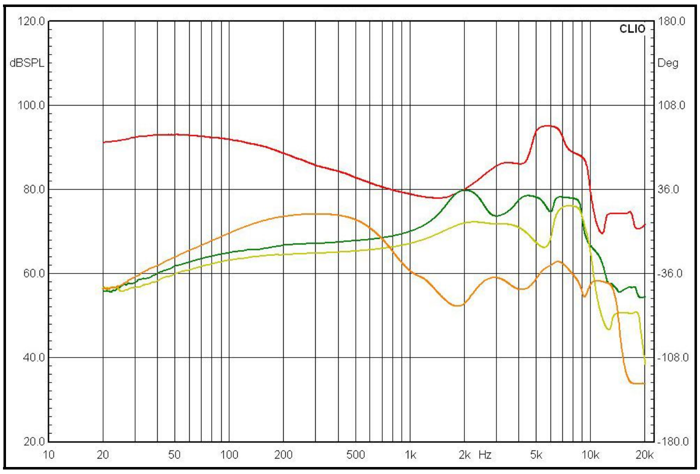
Figur 20: Frekvensgång hos olika hörlurar [Kleiner]

Här är det intressant att undersöka grafen från audioteknik och akustik. Det märks att vi för varje enskild lur får en unik frekvensgång och det är svårt att avgöra bara genom att titta på grafen vilken som låter bra. En öppen lur verkar dock ge mer basåtergivning än de som är placerade i hörselgången.

Koss Sparkplug som är en populär hörlur har också mätts upp i den artificiella hörselgången. Den är en öppen lur, men den placeras också i hörselgången och får därmed en mer direkt koppling till trumhinnan. Den öppna konstruktionen gör att impedansen blir mindre och därmed får en kraftigare bas.

Även en lur som ligger lite mitt emellan vad gäller pris har mätts upp. Det är Creatives EP630. Det är en sluten hörlurskonstruktion, men den har likt Sparkplug ett membran av samma typ som används i hörlurar av den typ som endast sätts vid hörselgångens mynning.

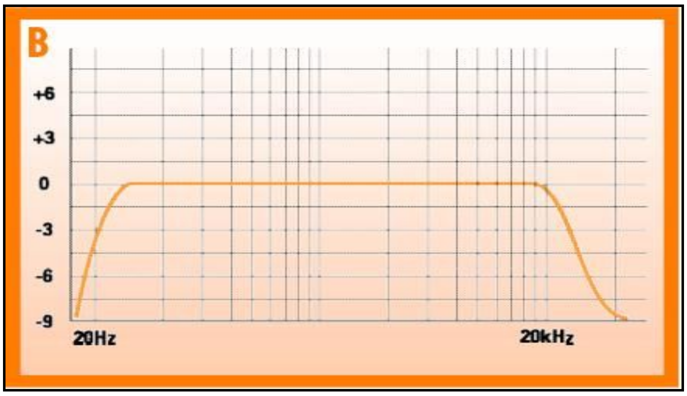
Figur 21 visar frekvensgången hos alla de testade hörlurarnas frekvensgång i det artificiella örat.
Kurvorna är utjämnade till en halv oktavs upplösning för ökad tydlighet. Det som kan konstateras av den här undersökningen är att det behövs ett verktyg för jämförelser av hörlurars frekvensgång. Det finns de som vill ha en kraftfull bas när de lyssnar på portabel audio. Då skulle de kanske inte välja d-Jays eller E3c.



Figur 21: Jämförelse mellan Koss Sparkplug (röd), Creative EP630 (orange), Jays d-Jays (grön) och Shure E3c (gul)

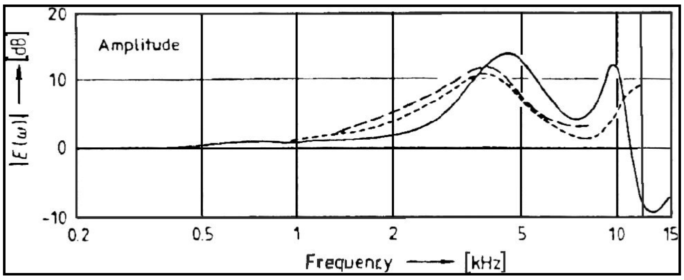
Test 3 - Jämförelse med högtalarens ideala frekvensrespons

En högtalare vars frekvensrespons som ser ut som i figur 22 är den perfekta referenshögtalaren. Den påverkar inte ljudet utan återger bara det som ljudteknikern avsett. Det innebär också att det ljud som når trumhinnan kommer vara påverkat av axlar, ytterörat och hörselgången. Exempel på hur den resulterande frekvensresponsen då borde se ut finner vi i figur 23 som visat tidigare i kapitel 2.2.



Figur 22: Ideal högtalarrespons för referenslyssning [ecoustics]

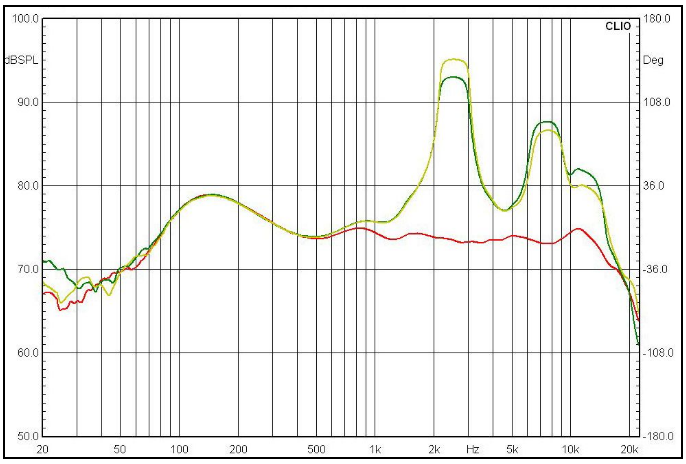
Här kan man ana sig till vissa likheter med i alla fall E3C och d-Jays. Toppen vid 5 och 10kHz är med. I d-Jays fall endast utan dammfiltren. Det som är lite svårare att förklara är toppen på 2kHz.



Figur 23: beräknade och uppmätta överföringsfunktioner vid hörselgångens mynning till ljudtryck vid trumhinnans yttersida [Kleiner]

Detta beror troligtvis på att den artificiella hörselgången helt saknar delar som påminner om resten av örat. Därför måste hörselgången i sig mätas upp även som kvartsvågsresonator.

Figur 24 visar en mätning i ett ekofritt rum. Högtalarens frekvensrespons är uppmätt på ca 30cm avstånd från mitten. Därefter sattes den 30mm långa och 8mm breda artificiella hörselgången på mikrofonen vilket gav den gula kurvan. Den gröna kurvan är motsvarande mätning fast med den 10mm breda artificiella hörselgången. Här har kurvorna jämnats ut till ½ oktav för tydlighetens skull.



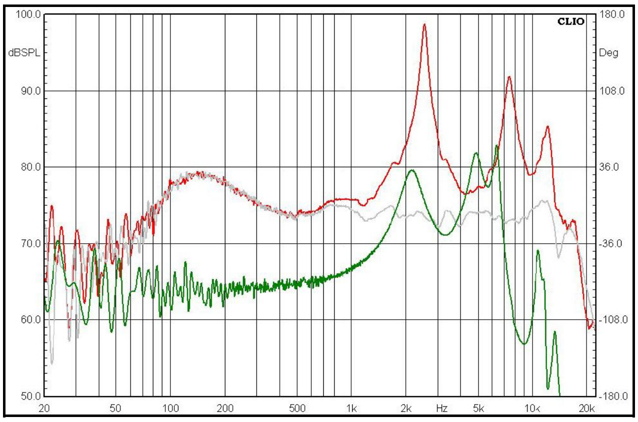
Figur 24: Uppmätta frekvensresponer för högtalaren (röd) artificiella hörselgången 8mm (gul) och 10mm (grön) utjämnad till ½ oktav

Våglängden för 2,5kHz är 13,6cm vilket innebär att hörselgången fungerar som en kvartsvågsresonator med en längd på ca 3,4 cm. Den första multipeln motsvaras av ¾ våglängd och syns tydligt som toppen på 7,5kHz

Detta borde då leda till att om d-Jays eller någon av de andra lurarna har en jämn frekvensgång så borde de följa topparna i motsvarande mätning. Gjord i det artificiella hörselgången. Figur 25 visar den jämförelsen. d-Jays representeras av den gröna kurvan. Mätningarna är inte normaliserade till samma nivå vilket kan leda till viss otydlighet.

Det är ganska tydligt att d-Jays inte har en helt rak frekvensgång. vid 2khz börjar skillnaderna bli stora. Detta kan bero på att hörselgången skiftar från kvartsvågsresonator till vad som kan likna en halvvågsresonator.

Den första toppen för d-Jays ligger på ganska exakt 2,1kHz som man kan utläsa tydligt ur figur 16 i test 1. Det innebär en våglängd på 16cm vilket i fallet med en halvvågsresonator blir 8cm. Något så stort avstånd finns inte i hörselgången. Det skulle kunna betyda att d-Jays kropp blir en förlängning av den inneslutna volymen. Vilket skulle göra att energifördelningen blir något förskjuten.



Figur 25 : Uppmätta frekvensresponer för högtalaren (vit) artificiella hörselgången 10mm (röd) och d-Jays (grön)

4.2 Hörselskyddsfunktion

Efter de tester som gjorts med ISO standard som referens har följande resultat för d-Jays funktion som öronpropp konstaterats. Testproppen har även den undersökts i samma avseende. Som jämförelse testades även en propp av industristandard på samma sätt.

Man bör tolka resultatet i förhållande till de förutsättningar under vilka testet utfördes. MIN värdet är minsta uppmätta skillnaden mellan den nivå som testpersonen hörde utan några proppar och med. De redovisas för att ge en bild av hur dåligt de testade propparna kan fungera om de inte används på det sätt som avsetts.

Standarden är framtagen för att ta fram ett värde på lägsta möjliga säkra dämpningen ett hörselskydd ger. I det här fallet innebär det att då standardavvikelsen blivit hög, blir resulterande APV låg efter beräkning med ekvation 3 i avsnitt 2.3.3. Som nämnts tidigare används här den förväntade skyddsgraden på 84% vilket är normalfallet.

Två test har antagits som missvisande då skillnaden mellan hörnivån utan propp vid några frekvenser under dessa test antagit ett negativt värde. Dessa har strukits ur resultatet. Sammanlagt blev det till slut 6st lyckade test som antas vara användbara.

Det här testet ger att d-Jays genom ekvationer presenterad i kapitel 2.4 beräknas till värden angivna i tabell 4. Totalmedel innebär medelvärdet av skillnaden mellan lägsta hörnivå och applicerad öronpropp för alla utförda tester.

Tabell 4: d-Jays APV Assumed protection value

d-Jays	Totalt medel	MIN	Standardavvikelse	APV	PNR
63Hz	23,5	14	5,79	17,71	10
125Hz	17	4	7,48	9,52	12
250Hz	15,5	3	8,48	7,02	12
500Hz	16,67	8	7,21	9,46	13
1kHz	19,33	12	4,55	14,79	13
2kHz	27,17	23	3,76	23,4	13
4kHz	17,5	10	6,19	11,31	13
8kHz	17,33	6	8,66	8,67	13

En användare använde den XS sleeven, tre använde S och en använde M. Detta kan ha gett en förstorad avvikelse, men resultatet talar ändå ett ganska tydligt språk. d-Jays fungerar bra för dämpning i vårt känsliga frekvensområde, vilket även är det område som talet ligger. Det innebär att d-Jays är ett bra val när det gäller att dämpa bort störande samtal på en buss, ett tåg eller på en annan plats där den typen av störning är vanlig.

d-Jays med testproppen får följande resultat.

Tabell 5: d-Jays APV med testsleeven

Testpropp	Totalt medel	MIN	Standardavvikelse	APV	PNR
63Hz	22,83	14	5,95	16,89	9
125Hz	16,5	7	8,04	8,46	9
250Hz	14,33	3	7,53	6,81	10
500Hz	14,83	5	6,82	8,01	10
1kHz	15,17	5	5,85	9,32	11
2kHz	22,17	17	3,43	18,74	12
4kHz	20,5	14	4,89	15,61	14
8kHz	24,5	12	9,44	15,06	15

Det är tydligt att testproppen ger en större dämpning på de högre frekvenserna. Standardavvikelsen för testproppen på 8kHz är väldigt hög men med det lilla antalet mätningar är det väntat.
För industriproppen har följande resultat erhållits. Här blev till slut antalet test endast 4 stycken.

Tabell 6: APV för industriproppen

Industripropp	Totalt medel	MIN	Standardavvikelse	APV	PNR
63Hz	22	14	5,42	16,58	13
125Hz	13,25	7	5,45	7,8	15
250Hz	13,75	7	4,57	9,18	16
500Hz	19,75	11	6,18	13,57	17
1kHz	24,5	20	4,65	19,85	19
2kHz	28,25	25	2,36	25,89	20
4kHz	30,5	17	8,35	22,15	22
8kHz	38,25	31	7,54	29,9	23

Ingen av testpersonerna kunde använda dessa proppar enligt den modell som tillverkaren tänkt. De fick in proppen lite mer än halvvägs. Vilket är det vad upphovsmannen till det här arbetet erfar, det sätt på vilket dessa proppar ofta används. Standardavvikelsen är ändå något lägre än för de andra testade propparna.
När den här proppen använd som tillverkaren så har de fått följande värden.

Tabell 7: Värden på APV från tillverkare av industriproppen

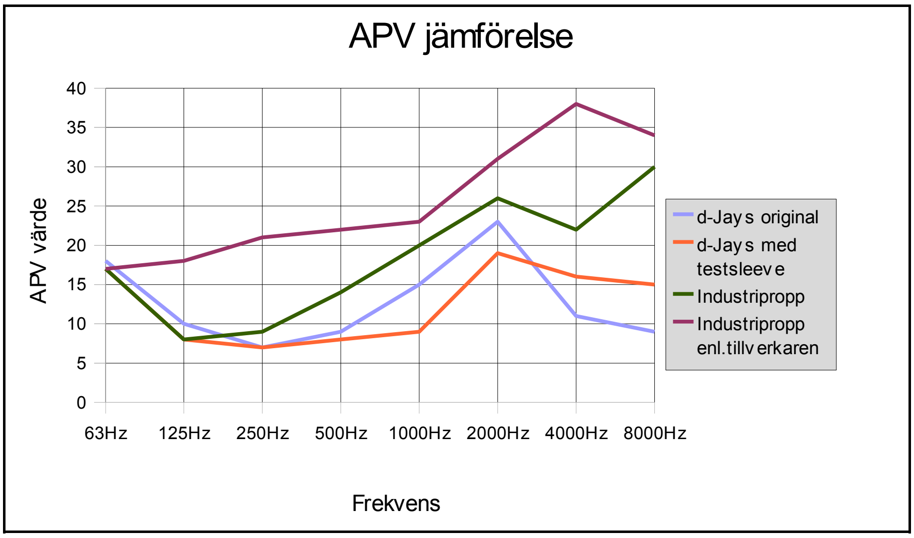
Oktavbands mittfrekven (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Medel dämpning (dB)	22,3	23,3	24,6	26,9	27,4	34,1	41,6	40,4
Standardavvikelse (dB)	5,4	5,3	3,6	5,4	4,8	3,1	3,5	6,4
Antagen dämpning (dB)	16,9	18,1	20,9	21,5	22,6	30,9	38,1	34

Det verkar som att proppen trots dålig passform fungerar bra vid de högre frekvenserna men lite sämre vid de lägre. Att skillnaden är så hög som 10dB mellan 125 och 500Hz kan tyda på att dämpningen vid de frekvenserna, beror mer av mängden material och dämpningen vid de högre frekvenserna beror mer av hur många lager ljudet behöver tränga igenom.

Sammanställningen av de resulterande värdena från undersökningen blir följande.

Tabell 8: APV värden för alla testade proppar

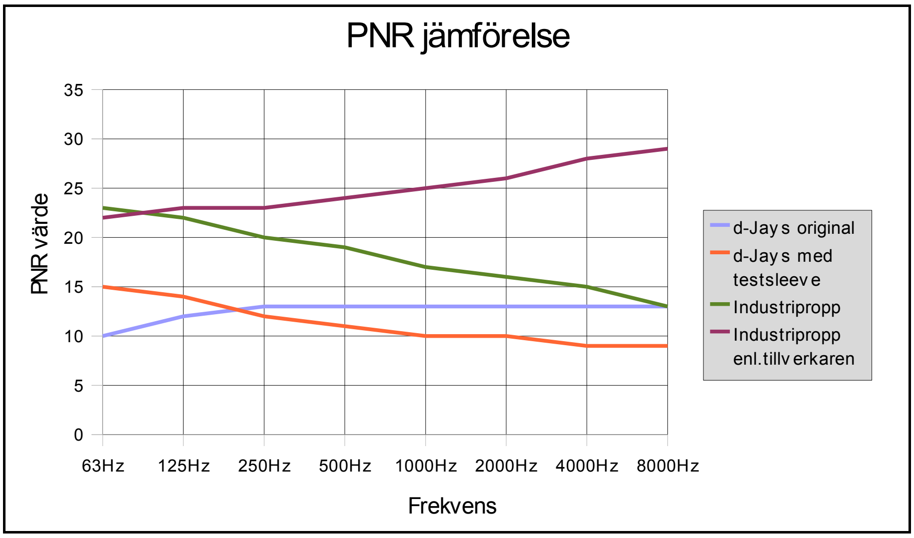
Oktavbans mittfrekvens (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
d-Jays original	18	10	7	9	15	23	11	9
d-Jays med testsleeve	17	8	7	8	9	19	16	15
Industripropp	17	8	9	14	20	26	22	30



Figur 26: APV värden för alla testade proppar

Tabell 9: PNR värden för alla testade proppar

Oktavbans mittfrekvens (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
d-Jays original	10	12	13	13	13	13	13	13
d-Jays med testsleeve	15	14	12	11	10	10	9	9
Industripropp	23	22	20	19	17	16	15	13
Industripropp enl.tillverkaren	22	23	23	24	25	26	28	29



Figur 27: PNR värden för alla testade proppar.

Tabell 10: HML och SNR värden för alla testade proppar

	H-	M-	L-	SNR
d-Jays original	22	12	13	13
d-Jays med testsleeve	23	10	11	14
Industripropp	37	17	18	21
Industripropp enl tillverkare	46	25	26	28

Dessa värden kan alltså användas för att beräkna den effektiva ljudnivå L'_{Ax} som blir innanför respektive propp i en specifik bullersituation. Som visats tidigare är de väldigt lågt satta värden som är menad att ge en säker referens när val av öronpropp görs Genom dessa värden kan man välja propp med avseende på vilket buller som råder vid användning. Samt vilken typ av dämpning man kan använda för att ha så god möjlighet till kommunikation som möjligt.

5 – Diskussion och slutsatser

Allmänt

Arbetet har fått mogna väldigt mycket sedan starten och det har fått en helt annan karaktär än den som avsågs från början. Det som tänkts från starten var bland annat att en ny del till hörluren skulle skapas av författaren. Detta ledde till åtskilliga slingriga stigar fram till de resultat som till slut visats.

Metod

När det gäller hörlurens frekvensgång så märktes det tydligt att en mätning bara gäller just för det tillfället. En pytteliten ändring kan innebära skillnader på upp till ett par decibel. Vilket skulle kunna betyda att metoden som har använts här har en del fel, vilket är troligt. Metoden har dock fungerat bra för jämförelser i det här arbetet. Ett test gick inte att genomföra pga att de lurar som använts för arbetet till slut hade gett upp. Nya lurar skulle ta för lång tid att fixa fram. Testet var tänkt att påvisa att frekvensgången hos luren påverkas av hur den sitter i örat. Det var också tänkt att svara på frågan; ”kan man tänka sig att luren dämpar bäst när den låter bäst?” vilket hålls för troligt.

Den ljuddämpande förmågan som d-Jays och andra hörlurar och öronproppar har kräver lokaler och utrustning som vida överstiger de som fanns tillgängliga för det här arbetet. Alla de avsteg från standard som varit tvungna har försenat och försvårat arbetet.

Resultat

Vad som låter bäst är och kommer alltid vara subjektivt. Det som går att göra är att jämföra hur hörluren låter i jämförelse med det man är ute efter. Har man tänkt använda luren i en bullrig miljö, så kan man tänka sig att en som dämpar bra har bättre förutsättningar att låta bra. När förutsättningarna för det här arbetet grundlades så fanns inte alls så många lurar på marknaden som nu. Nya mätmetoder har kommit fram och används på en del ställen. Därför kan dessa resultaten av frekvensresponsen vara något förlegat.

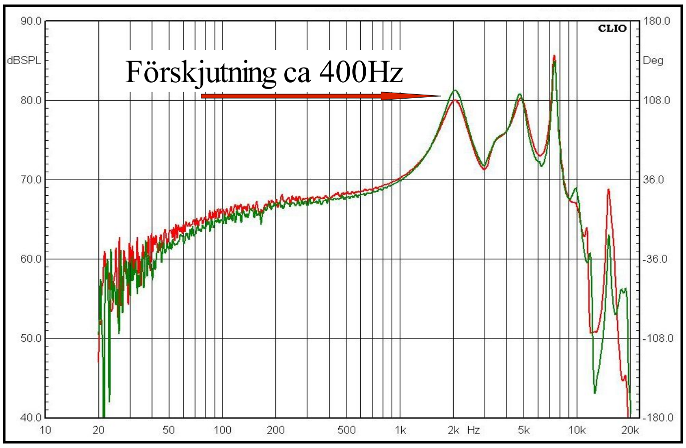
Analysen av d-Jays frekvensgång jämfört med den artificiella hörselgången gav inget tydligt resultat. Det är oklart om de toppar som är tydliga i mätningarna beror på medvetna val eller på grund av en miss i konstruktionen. Hörlurskroppen skulle kunna utgöra en förlängning av den inneslutna volymen som ljudet får propagera i.

Hörlurskroppens längd från högtalarelementets front till baksidan är ca 12mm lång. Om man utgår från att var och en av topparna berodde av stående vågor i hela den inneslutna volymen och därefter förkortar dessa med hörlurskroppens längd, får man följande.

Tabell 11: D-Jays hörlurskropps eventuella inverkan på frekvensgången

Frekvens	Våglängd	Halvvågsresonator	Förkortad 1,2cm	Ny våglängd	Ny frekvens
2100	16	8	6,8	13,4	2537
4750	7,2	3,6	2,4	4,8	7083

Det skulle innebära att den första resonansen hamnar närmare den första toppen för hörselgången vilken är för den här mätningen exakt 2562Hz. Den andra toppen hamnar på 7687Hz jämfört med den andra toppen hos d-Jays som efter en tänkt fysisk ändring blir 7083Hz. Något verkar det ligga i detta men det går inte att dra några slutsatser.



Figur 28: d-Jays frekvensgång höger (grön) och vänster (röd)

Figur 29: d-Jays insida

Tester av öronproppar är oerhört svåra om man skall följa den standard som är angiven. Lokalerna måste vara så dämpade och fria från ljud att det är svårt att uppnå överhuvudet taget. Det ekofria rummet som finns på LTU är inte tillräckligt tyst. Att dessutom skapa ett diffust ljudfält i ett sådant rum är ännu svårare. I arbetet har kraftiga förenklingar varit nödvändiga för att alls kunna genomföra mätningar. Men det är troligtvis så att testerna som gjorts här ändå är ganska rättvisande, då alla jämförelser gjordes enbart med varje testpersons eget resultat.

Några icke tidigare redovisade undersökningar gjordes med det artificiella örat placerat i lyssningspositionen avsedd för test av ljuddämpningsförmågan. Dessa var menade att vara referens till mätningarna med testpersoner och de som Jays presenterat. Men dessa förkastades snart på grund av en sen upptäckt nämligen följande.

Jays fick ljuddämpningsförmågan hos sina hörlurar testad av icke angiven testare. Resultatet angavs enligt tabell 12.

Tabell 12: Test av d-Jays ljuddämpande förmåga gjord med B&K konsthuvud

Oktavbands mittfrekvens (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Original SPL	86,83	89,9	93,9	93,96	97,95	98,21	101,67
Storlek 36 (medium sleeve)	55,11	66,29	62,2	69,96	57,73	60,43	81,76
Skillnad	31,72	23,61	31,7	24	40,22	37,78	19,91
Minskning Procent	36,53	25,71	33,78	25,54	41,07	38,47	19,58

Testet är gjort med ett B&K konsthuvud modell 4128C. Det är inte angivet om de testvärden som fåtts fram på något sätt är korrigerat för att bättre stämma in på verklig ljuddämpning.

PNR värdet är det närmaste den subjektiva dämpningen i oktavband som fås genom de tester som gjorts i det här arbetet. Men skillnaden mellan de olika mätningarna är väldigt stor. Enligt min mening är inte den här skillnaden något man kan förklara bort med de olika testernas egenheter. De skall egentligen beskriva samma sak. Tabell 13 visar jämförelsen.

Tabell 13: d-Jays jämförelse mellan uppmätt PNR och värden från test gjort med konsthuvud

Oktavbands mittfrekvens (Hz)	**63**	**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**
PNR uppmätt	17,7	9,5	7	9,5	14,8	23,4	11,3	8,7
Konsthuvud från tabell 12	?	31,72	23,61	31,7	24	40,22	37,78	19,91

Om någon felaktigt skulle likställa de olika värdena för att sedan ta fram en lämplig öronpropp för en given bullersituation så skulle dämpningen bli alldeles för hög i det ena fallet och alldeles för låg i det andra. Det som kan konstateras är att de olika metoderna inte alls är jämförbara och vidare är det väldigt osäkert vilken som egentligen speglar verkligheten bäst.

I ett paper av Elliott H. Berger från Inter noise konferensen i Brasilien 2005, Preferred Methods for Measuring Hearing Protector Attenuation [Berger] skriver han om att det finns många testmetoder men att ingen är felfri. Han nämner att det inte är meningsfullt att redovisa resulterande värden för ljuddämpningen med större marginal än ∓2dB då det är mycket svårt att uppnå bättre värden i annat än under väldigt kontrollerade sammanhang. Det som Berger beskriver som REAT ”Real-ear attenuation at threshold” är det som beskrivs i ISO 4869-1:1990 och är den som enligt honom fortfarande är den säkraste mätmetoden men att den även kan underskatta dämpning som proppen ger.
I rapporten skriver han också att ingen mätning med ”akustiska test fixturer”, så som HEAD acoustics eller den artificiella hörselgången som tillverkats för arbetet, inte ger direkta svar utan kräver bearbetning. Men även de bearbetade svaren skiljer sig väldigt mycket från de gjorda med REAT.

Därför valdes att inte nämna resultat av mätningar gjorda med andra metoder än de som redovisats.

Slutsatser om ljudåtergivningen

En in-earlur som inte färgar ljudet skall ge samma frekvensrespons vid trumhinnans utsida som en högtalare som inte färgar ljudet. Vilket är det som eftersträvas vid professionell ljudbearbetning. Det är däremot svårt att utifrån testerna säga att d-Jays eller E3c ger ett upplevt bättre ljud än till exempel Sparkplug. Vad som kan sägas är dock att många som dagligen lyssnar på audio i MP3 spelare eller annat gärna använder just den som ger mycket bas.

Mätningarna i det artificiella örat visar inga tydliga tecken på om d-Jays eller E3c är tänkta att ha en absolut rak frekvensgång. Ofta vill högtalartillverkare och troligtvis då också hörlurstillverkare ha en speciell karaktär på ljudåtergivningen hos sin produkt. Däremot visar undersökningen på att det finns en antydan till att d-Jays kan ha haft en tanke att skapa en rak frekvensgång, men i så fall missat hörlurskroppens inverkan på de stående vågorna. Det är också möjligt att uppställningen, då den saknar en del fysiska detaljer som en vanligt öra har, inte är tillräckligt rättvisande för att dra några tydliga slutsatser.

Slutsatser om ljuddämpningen

d-Jays fungerar utmärkt för att dämpa normalstarkt omgivningsljud. Det man bör se upp med är om proppen verkligen sitter så bra som den kan. Man bör testa olika sleeves så att man är säker på att den man använder sitter bra.
Jays påstående om att d-Jays skall dämpa upp till 90% är inte helt osant då det skulle innebära en ljuddämpningen på 20dB. Kolumnen total medel i tabell 4 ger att det är möjligt att dämpningen kan gå upp till sådana värden.

Det är dock något som inte stämmer med uppmätningen av ljuddämpande förmåga gjord med konsthuvud. Det är inte troligt att två likvärdiga test skulle ge så skilda resultat. En försiktig slutsats är att man bör vara väldigt kritisk, om man tänkt använda en in-ear lur i en verklig bullersituation.

Enligt författaren till det här arbetets mening är det REAT som borde användas för alla typer av hörselskydd då man alltid är ute efter att skydda användaren från hörselskador. Det är inte menat att användas som ett knep från en hörlurstillverkare för att sälja mer. Man bör dock alltid försöka i möjligaste mån anpassa skyddet till bullersituationen.

Testsleevens funktion

Testsleeven har stått sig bra mot orginalsleeven och dessutom visat sig vara ett mycket bättre alternativ för högfrekvent buller. Då den inte anpassats helt till d-Jays form så har den inte riktigt samma dämpning i de lägre frekvenserna. Den har också bara funnits i en storlek vilket inte har varit helt optimalt för bekvämligheten.

Jays bör utveckla alternativa sleeves för att nå fler användare med olika smak och användningsområden. Den granliknande proppen har tydliga fördelar. Den fungerade väl under testerna och de flesta kunde använda den trots att endast en storlek fanns tillgänglig. Ingen hade problem med att den gled ur örat. Det enda som några kände var att det blev undertryck i örat när den skulle tas ut, vilket kunde avhjälpas genom att vrida lite på luren när den avlägsnades.

Förslag på ytterligare arbete

Ett stort steg vore om det gick att utforma ett allmänt test för hörlurar och dess funktion. Idag får man med produkten information om dess frekvensrespons angivet som 20-20kHz vilket inte säger någonting. Det anges ibland i procent hur mycket en lur dämpar. Det är inte heller ok. Att likställa kravet av test på in-earlurars ljuddämpning med öronproppar vore bra både för producenter och köpare.

Litteraturlista

Litteratur

[Kleiner] Audioteknik och akustik, Mendel Kleiner, institutionen för teknisk akustik, chalmers tekniska högskola GBG 2000, sjunde upplagan

[Wallin] Ljud och Vibrationer, H Bodén U Carlsson R Glav H P Wallin och M Åblom, Nordstedts tryckeri AB, Stockholm 2001

[Berger] Preferred Methods for Measuring Hearing Protector Elliott H. Berger, E•A•R / Aearo Company, 7911 Zionsville Rd., Indianapolis, IN, 46268-1657

Standarder

[ISO 1] SS-EN ISO 8253-2 Akustik - Audiometriska mätmetoder -
Del 1: Ljudfältsaudiometri med rena toner och smalbandiga testsignaler

[ISO 2] SS- EN ISO 4869-1:1990 Acoustics – Hearing protectors -
Part 1 Subjective method for measurement of sound attenuation

[ISO 3] SS- EN ISO 4869-2:1994 Akustik – Hörselskydd – Del 2: Uppskattning av effektiv A-vägd ljudtrycksnivå vid användning av hörselskydd

[ecoustics] http://forum.ecoustics.com/bbs/messages/34579/131062.html

[Jays] http://www.jays.se/products/earphones/d-jays-image-gallery.html

Webbplatser

[WIKI] Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Transfer_function 2008-07-

Bilagor

1. Leverantörers data på lurar använda i arbetet

All information här är det som anges på leverantörens hemsida. Inga ändringar har gjorts

d-Jays

http://www.jays.se/products/earphones/d-jays-details.html

DriverType	Micro Armature
Sensitivity	115 dB SPL @ 1 kHz
Impedance	40 Ohm @ 1 kHz
Frequency Response	20 Hz - 20 000 Hz
EarphonesIsolation	JAYS Sound Isolating Sleeves
Weight	14 grams (0.49 oz)
CordType	TPE coated with Kevlar filling
Length	60 cm (23.5 in)
Diameter	2/1.5 mm (0,079/0,059 in)
Plug	Straight, Gold-Plated Stereo Plug 3.5 mm (1/8 in)
Extension Cord	90 cm (35.5 in)

Shure E3c

http://shure.com/personalaudio/products/earphones/eseries/us_pa_e3c_content

Speaker Type	Wideband MicroDriver
Sensitivity (at 1kHz)	115dB SPL/mW
Impedance (at 1kHz)	26
Cable Length	E3c 1.57m (62 inches) E3c (in black): 1.45m (56 inches)
Net Weight	28g (0.9 oz)
Input Connector	3.5 mm (1/8") gold-plated stereo plug

Sparkplugg

http://www.koss.com/koss/kossweb.nsf/p?openform&pc^eb^SPARK_PLUG#spec

Frequency Response	10-20,000 Hz
Impedance	16 ohms
Sensitivity	112dB SPL/1mW
Distortion	<0.3%
Cord	Straight, Dual Entry, 4ft

Creative EP-630
http://se.europe.creative.com/products/product.asp?category=437&subcategory=441&product=11397&nav=0&listby=

Drivenheter	9 mm neodymiummagnet
Frekvensomfång	16Hz - 23kHz
Impedans	16 ohm
Känslighet (1kHz)	106dB/mW
Sladdlängd	1,2m syrefri kopparkabel
Kontakt	3,5 mm stereo guldpläterad
Nettovikt	9g (utan paketering)

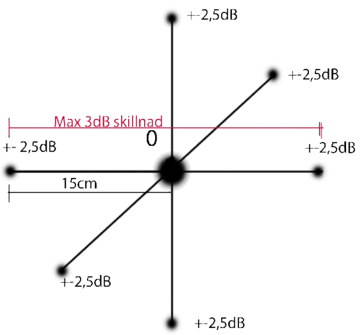
2. Passivdämpnings test

ISO krav för mätningar av hörselskydds funktion

Tabell 14: maximal uppfattningsbar bakgrundsbrus nivå

Center frequency	One-third octave band sound pressure level (referens = 20mPa)
31,5	57
40	43
50	31
63	25
80	21
100	18
125	14
280	11
200	9
250	6
315	4
400	3
500	2
630	1
800	1
1000	1
1250	1
1600	2
2000	2
2500	1
3150	-1
4000	-4
5000	-2
6300	3
8000	10
10000	20

Med testperson och stol frånvarande skall skillnaden i ljudtrycksnivå inte vara mer än ∓2,5dB mellan referenspunkten och 15 centimeter upp-ner, höger-vänster och fram-bak. Dessutom får inte skillnaden vara mer än 3dB mellan höger och vänster positionerna.
Efterklangstiden får inte överstiga 1,6 sekunder för något tersband.



Figur 30: Krav på diffust ljudfält

Förhållanden i vald lokal för tester

För mätningar av ljuddämpande förmåga hos testobjekten användes en tom lagerlokal i Universitetets källare. Det hade tillräckligt reflekterande väggar för att skapa ett diffust ljudfält men hade en efterklangstid som något översteg den som angavs i standarden. Bakgrundsnivåerna som krävts i standarden var oerhört svåra att komma ner i ens vid försök i ett ekofritt rum. Detta kan bero på att mikrofonen som använts inte är känslig nog.

Tabeller för uträkning av APV, H-M-L och SNR värden

De lägsta värdena på ljudnivån går inte att mäta upp därför approximeras de lägre nivåerna. 10 steg mäts upp och värden på varje steg beräknas utifrån det. Värdet inom parentes gäller för 63Hz. Förstärkaren förväntas bete sig linjärt. Alla värden mäts i dB SPL i CLIO 500 medelvärden med oktavbandsanalys och1/3 Oktav upplösning. Alla värden är avrundade till närmaste heltal.

Tabell 15: Uppmätta och uppskattade dB värden med avseende på steg på förstärkaren.

Steg (Hz)	**63 (dBSPL)**	**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**
Medel steg	2	2	2	2	2	2	2	2
2(12)	-7	4		-1	1	-6	-7	-10
4(14)	-4	6	3	2	4	-3	-4	-7
6(16)	-2	9	5	4	6	-1	-2	-5
8(18)	0	11	7	7	8	2	1	-2
10(20)	2	13	10	9	11	4	3	
12(22)	4	15	12	11	13	6	5	2
14(24)	6	17	14	14	15	9	8	5
16(26)	9	20	16	16	17	11	10	7
18(28)	11	22	19	19	20	14	13	10
20(30)	13	24	21	21	22	16	15	12
22(32)	15	26	23	23	24	18	17	14
24(34)	17	28	26	26	27	21	20	17
26(36)	20	31	28	28	29	23	22	19
28(38)	22	33	30	31	31	26	25	22
30(40)	24	35	33	33	34	28	27	24
32(42)	26	37	35	35	36	30	29	26
34(44)	28	39	37	38	38	33	32	29
36(46)	31	42	39	40	40	35	34	31
38(48)	33	44	42	43	43	38	37	34
40(50)	35	46	44	45	45	40	39	36
42(52)	37	49	45	47	48	42	41	38
44(54)	40	51	48	49	50	45	43	41
46(56)	44	53	50	52	53	47	46	43
48(58)	46	56	52	54	55	49	48	46
50(60)	48	59	55	56	57	52	51	48
52(62)	49	61	57	59	59	54	53	50

Hela signalkedjan:
Signal: Tersbandsfiltrerat rosa brus med oktavbandens mittfrekvenser
Ljudmedium: CD
Media spelare: TEAC CD-5
Förstärkare: Proson RV2040
Högtalare: Paradigm Titan v0.2

Tabeller för redovisning av ljuddämpnings tester

Tabell 16: Test formulär

	Testperson 1	**63Hz**	**125Hz**	**250Hz**	**500Hz**	**1000Hz**	**2000Hz**	**4000Hz**	**8000Hz**
dBHL	Tonaudiometri Höger								
dBHL	Tonaudiometri Vänster								
Steg enl Ref	Rosa brus lägsta nivå								
Steg enl Ref	d-Jays								
Steg enl Ref	Testpropp								
Steg enl Ref	Industripropp								

Tabell 17: Resultat översatt till dBSPL via tabell 3 Uppmätta och uppskattade dB värden med avseende på steg på förstärkaren.

dBSPL	Lägsta hörbara nivå								
dBSPL	Industripropp								
dBSPL	d-Jays								
dBSPL	Testpropp								

Table 18: A-vägda ljudtrycksnivåer i oktavband för åtta referensbuller, normaliserade till en A-vägd ljudtrycksnivå av 100dB, (Lc -La) värden och konstanter di. Samt exempel på beräkning av AVP, H-M-L- och SNR värden.

Oktavbandsmittfrekvens, Hz

i	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	LC -LA	di
1	51,40	62,60	70,80	81,00	90,40	96,20	94,70	92,30	-1,20	-1,20
2	59,50	68,90	78,30	84,30	92,80	96,30	94,00	90,00	-0,50	-0,49
3	59,80	71,10	80,80	88,00	95,00	94,40	94,10	89,00	0,10	0,14
4	65,40	77,20	84,50	89,80	95,50	94,30	92,50	88,80	1,60	1,56
5	56,30	77,40	86,50	92,50	96,40	93,00	90,40	83,70	2,30	-2,98
6	70,70	82,00	89,30	93,30	95,60	93,00	90,10	83,00	4,30	-1,01
7	75,60	84,20	90,10	93,60	96,20	91,30	87,90	81,90	6,10	0,85
8	77,60	88,00	93,40	93,80	94,20	91,40	87,90	79,90	8,40	3,14

APV		**16,90**	**18,10**	**20,90**	**21,50**	**22,60**	**30,90**	**38,10**	**34,00**
Laf(k)	**1**	34,50	44,50	49,90	59,50	67,80	65,30	56,60	58,30
	2	42,60	50,80	57,40	62,80	70,20	65,40	55,90	56,00
	3	42,90	53,00	59,90	66,50	72,40	63,50	56,00	55,00
	4	48,50	59,10	63,60	68,30	72,90	63,40	54,40	54,80
	5	39,40	59,30	65,60	71,00	73,80	62,10	52,30	49,70
	6	53,80	63,90	68,40	71,80	73,00	62,10	52,00	49,00
	7	58,70	66,10	69,20	72,10	73,60	60,40	49,80	47,90
	8	60,70	69,90	72,50	72,30	71,60	60,50	49,80	45,90

		PNR
1	**-**	**29,37**
2	**-**	**27,61**
3	**-**	**25,85**
4	**-**	**24,92**
5	**-**	**23,67**
6	**-**	**23,32**
7	**-**	**22,72**
8	**-**	**22,12**

		Avrundat	
H(84)	47,86	48,00	
M(84)	24,25	24,00	
L(84)	21,73	22,00	

SNR	27,70	28,00	

Mittfrekvens	**63**	**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**
APV	16,90	18,10	20,90	21,50	22,60	30,90	38,10	34,00
Laf(k) dB	65,3	75,4	82,9	88,3	91,5	92,7	92,5	90,4
$L_{af(k)} - APV_x$	48,4	57,3	62	66,8	68,9	61,8	54,4	56,4

Testformulär

Bild eller signum

Testformulär för d-Jays

Testperson nr_____

Val av låt att lyssna på_______________________

Val av storlek på sleeve XS S M L

Tag din tid med att svara på följande frågor, du kommer få vila öronen ett tag innan dämpningstestet. Du behöver inte oroa dig för formuleringar bara skriv vad du spontant tycker.

Använder du portabel audio så som mp3spelare, eller telefon med radio eller musikspelare ofta?____

Vad tyckte du om ljudet i d-Jays

Kommentarer om utseende på d-Jays

Kommentarer om hur det känns att använda d-Jays

Övriga tankar och idéer